

Method for measuring a physical quantity influencing the inherent oscillation of a measurement transducer

Patent number: DE3618798
Publication date: 1987-12-10
Inventor: KOEHLER HEINZ-GERHARD (DE)
Applicant: NORD MICRO ELEKTRONIK FEINMECH (DE)
Classification:
- **international:** G01D21/00; G01L1/10; G01L11/00; G01K11/28;
G01N9/00; G01P15/00; G01D3/04; G01C5/06
- **europaean:** G01D3/02D; G01K11/28; G01L9/00A10; G01P15/097;
G01P15/10
Application number: DE19863618798 19860604
Priority number(s): DE19863618798 19860604

Report a data error here

Abstract of DE3618798

The invention relates to a device or a method for measuring a physical quantity influencing the inherent oscillation of a measurement transducer either directly or via a flowing medium, such as, for example, pressure, force, temperature, density, acceleration, the measurement transducer being excited into natural oscillations in a defined mode of oscillation via an exciter system with feedback and the frequency of the natural oscillation being picked up via a pick-up system and supplied to a measuring arrangement for evaluation. According to the invention, for eliminating interfering influences due to a change in the influencing variables, such as the measurement transducer is excited into a number of vibration modes, for example in a flowing medium during the measurement of the pressure for compensating for changes in the temperature and the density of the medium, the frequency changes influenced by the physical quantities to be measured or, respectively, interfering are detected separately and supplied to the measuring arrangement in which the dependence of the frequency changes on measuring and/or possible interference variables for each vibration mode is stored, and are evaluated.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND

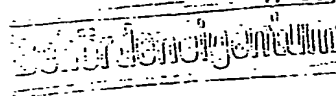


DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 36 18 798 A 1**

⑳ Aktenzeichen: P 36 18 798.4
㉑ Anmeldetag: 4. 6. 86
㉒ Offenlegungstag: 10. 12. 87

⑤ Int. Cl. 4:
G01 D 21/00
G 01 L 1/10
G 01 L 11/00
G 01 K 11/28
G 01 N 9/00
G 01 P 15/00
G 01 D 3/04
// G01 C 5/06



DE 36 18 798 A 1

㉑ Anmelder:

Nord-Micro Elektronik Feinmechanik AG, 6000
Frankfurt, DE

㉒ Vertreter:

Seibert, R., Dipl.-Ing., Pat.- u. Rechtsanw., 8000
München

㉓ Erfinder:

Köhler, Heinz-Gerhard, 6369 Schöneck, DE

⑤4 Verfahren zum Messen einer die Eigenschwingung eines Meßwandlers beeinflussenden physikalischen Größe

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung oder ein Verfahren zum Messen einer die Eigenschwingung eines Meßwandlers direkt oder über ein strömendes Medium beeinflussenden physikalischen Größe, wie z. B. Druck, Kraft, Temperatur, Dichte, Beschleunigung, wobei der Meßwandler über ein rückgekoppeltes Erregersystem zu Eigenschwingungen in einem definierten Schwingungsmodus angeregt und die Frequenz der Eigenschwingung über ein Aufnehmersystem abgenommen und einer Meßanordnung zur Auswertung zugeführt wird. Erfindungsgemäß werden zur Eliminierung von Störeinflüssen durch Änderung der beeinflussenden Größen, wie beispielsweise im strömenden Medium bei der Messung des Druckes zur Kompensation von Änderungen der Temperatur und der Dichte des Mediums der Meßwandler zu mehreren Schwingungsmoden angeregt wird, daß die von den zu messenden bzw. störenden physikalischen Größen beeinflussten Frequenzänderungen getrennt erfaßt und der Meßanordnung, in welcher die Abhängigkeit der Frequenzänderungen von Meß- und/oder möglichen Störgrößen für jeden Schwingungsmodus abgespeichert ist, zugeführt und ausgewertet werden.

DE 36 18 798 A 1

1. Verfahren zum Messen einer die Eigenschwingung eines Meßwandlers direkt oder über ein strömendes Medium beeinflussenden physikalischen Größe, wie z. B. Druck, Kraft, Temperatur, Dichte, Beschleunigung, wobei der Meßwandler über ein rückgekoppeltes Erregersystem zu Eigenschwingungen in einem definierten Schwingungsmodus angeregt und die Frequenz der Eigenschwingung über ein Aufnehmersystem abgenommen und einer Meßanordnung zur Auswertung zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß zur Eliminierung von Störeinflüssen durch Änderung der beeinflussenden Größen, wie beispielsweise im strömenden Medium bei der Messung des Druckes zur Kompensation von Änderungen der Temperatur und der Dichte des Mediums der Meßwandler zu mehreren Schwingungsmoden angeregt wird, daß die von den zu messenden bzw. störenden physikalischen Größen beeinflussten Frequenzänderungen getrennt erfaßt und der Meßanordnung, in welcher die Abhängigkeit der Frequenzänderungen von Meß- und/oder möglichen Störgrößen für jeden Schwingungsmodus abgespeichert ist, zugeführt und ausgewertet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßwandler gleichzeitig zu verschiedenen Schwingungsmoden angeregt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Meßwandler die verschiedenen Schwingungsmoden im Multiplexbetrieb in kurzen aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten aufgedrückt werden.
4. Meßanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3 zum Messen physikalischer Größen eines strömenden Mediums, wie Druck, Temperatur oder Dichte mittels eines zu Eigenschwingungen anregbaren Meßwandlers, wobei dem zu Eigenschwingungen anregbaren Körper, z. B. in Form einer Membran, eines Quaders oder eines Hohlzylinders, auf einer Seite das Medium, dessen Eigenschaften gemessen werden soll, zugeführt wird, und auf der anderen Seite ein Vergleichsmedium mit bekannten Eigenschaften oder Vakuum vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei voneinander entkoppelte Anreger-/Aufnehmersysteme (11, 12, 13, 14) vorgesehen sind zur gleichzeitigen und unabhängigen Anregung von Schwingungen unterschiedlicher Moden, daß weiter ein Auswertesystem vorgesehen ist, dem zur Auswertung der vom Aufnehmersystem gelieferten Signalwerte mittels vom Auswertesystem zugänglichen Kalibrationsdaten (10) der einzelnen Schwingungsmoden ein Rechner (9) zugeordnet ist.
5. Meßanordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Meßwandler ein zylindrischer Hohlkörper aus elastischem Material vorgesehen ist, dessen Innenraum gegen den Umgebungsraum abgedichtet ist, und daß zwei Paare von Erreger-/Aufnehmerspulen (11, 12, 13, 14) zur Anregung in zwei unterschiedlichen Moden vorgesehen sind, wobei zum Zwecke der elektromagnetischen Entkopplung die Spulennachsen der Erreger- (11, 14) auf denen der Aufnehmerspulen (12, 13) senkrecht stehen.
6. Meßanordnung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch

gekennzeichnet, daß zum Zwecke der gleichzeitigen Anregung zweier Zylindermodes für die geometrische Selektion der anzuregenden Moden besondere Polschuhformen (10a—10d) und eine bestimmte räumliche Anordnung (Fig. 9) der Erreger-/Aufnehmersysteme (11, 12, 13, 14) vorgesehen sind.

7. Meßanordnung nach Anspruch 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die geometrische Selektion der beiden anzuregenden Moden durch die Summen- bzw. Differenzbildung der Signale der beiden Aufnehmersysteme (12 und 13) sowie der beiden Erregersysteme (11 und 14) bewirkt wird.

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Messen einer die Eigenschwingungen eines Meßwandlers direkt oder über ein strömendes Medium beeinflussenden physikalischen Größe, wie z. B. Druck, die Kraft, die Temperatur, die Dichte, die Beschleunigung usw.

Es ist bekannt und wird insbesondere auch zum Messen von Luftdruck (Höhenmesser in Flugzeugen) angewandt, den Einfluß des Druckes auf die Eigenschwingung eines Meßwandlers, z. B. eines Drucksensors in Form eines Zylinders dadurch zu bestimmen, daß der Meßwandler zu Eigenschwingungen angeregt und die Frequenzänderung zur Bestimmung des Druckes ausgewertet wird. Dabei wird die Luft, deren Druck gemessen werden soll, auf einer Seite der Zylinderwandung zugeführt, während auf der anderen Seite ein definierter Vergleichsdruck, beispielsweise auch der Druck 0, vorhanden ist.

An Stelle eines in Form eines Hohlzylinders ausgebildeten Drucksensors kann auch jeder andere zu Eigenschwingungen fähige Körper in Form eines Quaders, einer Lamelle, einer Scheibe usw. aus beliebigem elastischen Material, wie Stahl, Quartz oder dergl. für die gleichen Zwecke herangezogen werden, wenn nur dafür gesorgt ist, daß auf einer Seite das Medium bekannter Dichte, dessen Druck gemessen werden soll, zugeführt werden kann, während auf der anderen Seite ein definierter und bekannter Druck, z. B. auch der Druck 0 vorhanden ist.

In ganz gleicher Weise kann mit einer derartigen Meßanordnung bei definiertem Druck auch die Dichte oder aber über die Dichteänderung die Temperatur von Luft oder jedem anderen Fluid gemessen werden.

Meßanordnungen für die genannten Zwecke sind mit verschiedenen Meßwandlern und mit unterschiedlichem konstruktiven Aufbau bekannt. Ein Meßwandler in Form eines zylindrischen Hohlkörpers ist beispielsweise in der DE-PS 19 43 925 beschrieben.

Bei der Herstellung derartiger Meßanordnungen und insbesondere der Auswertung der Meßwerte müssen verschiedene Bedingungen erfüllt und Störeinflüsse eliminiert werden.

Zunächst muß der Meßwandler selbst mit hoher Genauigkeit hergestellt werden, wobei verhältnismäßig teures Material mit einem niedrigen Elastizitäts-Temperaturkoeffizienten verwendet werden muß, um den Einfluß der Eigentemperatur weitgehend auszuschalten. Darüberhinaus besteht gerade bei der Messung des Druckes von Luft die Besonderheit, daß Dichteänderungen und damit auch Temperaturänderungen der zu messenden Luft in die für eine Eigenschwingung typische Frequenzänderung mit eingehen.

Wird umgekehrt eine derartige Meßanordnung zur Bestimmung der Dichte oder aber auch der Temperatur des Fluids eingesetzt, dann führen Druck- und Temperaturänderungen bzw. Druck- und Dichteänderungen in dem zu messenden Fluid zu Fehlern, die mit herkömmlichen Mitteln nur mangelhaft kompensiert und im besonderen auch nicht ausgeschlossen werden können.

Bei einer Meßanordnung zum Messen des Druckes wird man dementsprechend bei dem Aufbau des Meßwandlers versuchen, diesen so zu dimensionieren, daß beispielsweise die Dichte des strömenden Mediums möglichst wenig Einfluß auf die Eigenschwingung ausübt und man wird versuchen, die Temperatur so konstant wie nur möglich zu halten, um auch Temperaturänderungen, die ihrerseits wieder zu Fehlern führen könnten, weitgehend auszuschließen.

Es ist ohne weiteres einzusehen, daß eine völlige Eliminierung des Einflusses der Dichte des strömenden Mediums überhaupt ausscheidet, während eine Temperaturstabilisierung nur mit großem Aufwand möglich ist. Dabei ist naturgemäß jede von einer Temperaturmessung abhängige Temperaturstabilisierung äußerst träge und sowohl bei der Inbetriebnahme einer Meßanordnung als auch bei plötzlichen Änderungen der Umgebungstemperatur nicht mit der notwendigen Genauigkeit zu realisieren. Berücksichtigt man, daß derartige Drucksensoren beispielsweise als Höhenmesser in Flugzeugen eingesetzt werden sollen, dann ist leicht ersichtlich, daß eine Temperaturstabilisierung wegen der großen Trägheit praktisch ausscheidet.

Man hat schon vorgeschlagen, die Temperatur in der Anordnung zu messen und die Meßwerte entsprechend zu korrigieren. Eine derartige Maßnahme ist aber ebenfalls ungenau, da die Messung der Temperatur an einem Eigenschwingungen auszuführenden Meßwandler nur schwer zu realisieren ist und darüberhinaus die Messung an einem Punkt keineswegs Garantie für die Temperaturverteilung des schwingenden Meßwandlers und insbesondere der den Meßwandler beeinflussenden Luft gibt.

Dabei wird an der geeigneten Stelle mit einem zusätzlichen Temperaturfühler, z. B. mit einem Widerstandsthermometer, die Temperatur der Anordnung (bzw. des Fluids) erfaßt und mit ausgewertet.

Die Auswertung beider Ausgangssignale, des Frequenz-Signals f und des Temperatur-Signals, etwa einer Spannung u , ermöglicht eine Rückrechnung auf den zu messenden Druck p , wobei der Temperatureinfluß prinzipiell kompensiert wird.

Die Rückrechnung erfolgt über einen geeigneten Interpolationsalgorithmus, der jedem Frequenzwert f und jedem temperaturproportionalen Wert u eindeutig einem Druckwert p zuordnet:

$$p = p(f, u)$$

Die für den Interpolationsalgorithmus erforderlichen Daten, d. h. Polynomkoeffizienten oder Stützpunkte, werden durch eine Eichmessung bestimmt und stehen, etwa in einem Rechner, zur Verfügung.

Bei dieser Eichmessung, der Kalibration, werden für mehrere Druck- und Temperaturwerte die resultierenden Frequenzen und Spannungen des Wandlers erfaßt.

Ein solches Verfahren der Temperaturkompensation wird bereits bei einigen handelsüblichen Präzisionssensoren, insbesondere bei Präzisionsdrucksensoren, angewandt.

Das Problem dieses Verfahrens besteht nun darin,

daß der Temperaturfühler nicht unmittelbar auf dem schwingenden Teil des Wandlers befestigt werden kann, weil dadurch die Eigenschwingungen undefiniert gestört würden und deren Schwinggüte Q auf einen nicht mehr ausreichenden Wert absinken könnte.

Der Temperaturfühler sitzt deshalb üblicherweise ein Stück vom schwingenden Teil entfernt und ist mit diesem durch eine träge thermische Verzögerungsstrecke verbunden. Dies hat zur Folge, daß zwischen der schwingenden Membran und der Temperaturmeßstelle ein bisweilen erheblicher Temperaturgradient auftritt, der die Temperaturkompensation verfälscht und einen entsprechenden Fehler der Druckmessung nach sich zieht.

Bei Störungen des stationären thermischen Gleichgewichts, aber auch bei einem stationären Wärmestrom längs dieser Strecke konnten Druckmeßfehler bis zu einigen Prozent beobachtet werden.

Es gibt also keine befriedigende Temperaturkompensation, solange der Temperaturfühler nicht die Temperaturverteilung des schwingenden Elements selbst erfaßt.

Ein anderer Vorschlag, die vorgenannten störenden Einflüsse bei einem Druckwandler zu kompensieren, ist in der DE-OS 28 36 286 gemacht. Es wird dort angeregt, zwei konzentrisch aufgebaute zu Resonanzschwingungen anregbare Druckzylinder vorzusehen und die beiden entstehenden Resonanzfrequenzen gegeneinander zu schalten, um dadurch Einflüsse von Temperatur und Dichte zu eliminieren oder doch wenigstens zu mildern.

Auch einer derartigen Anordnung haftet noch der Nachteil an, daß gerade beim Beginn einer Messung keineswegs die Garantie dafür gegeben ist, daß das jeweilige Fluidum und die beiden Drucksensoren genau die gleiche Temperatur haben, damit eine vollständige Kompensation des Einflusses der Temperatur erreicht werden kann.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, gem. welchem durch besondere Anregung des Eigenschwingungen ausführenden Meßwandlers sowie durch die Auswertung der Frequenzen Einflüsse von physikalischen Größen, die gerade nicht gemessen werden sollen, eliminiert werden können.

Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren zum Messen einer der Eigenschwingung des Meßwandlers beeinflussenden physikalischen Größe mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche und der Anspruch 4 offenbart eine Meßanordnung zur Durchführung des genannten Verfahrens, wobei die Unteransprüche 5 bis 7 vorteilhafte konstruktive und schaltungs-technische Maßnahmen beinhalten.

Bei dem Verfahren nach der Erfindung wird also ein und derselbe Meßwandler zu mehreren unterschiedlichen Schwingungsmoden angeregt.

Dies bedeutet, daß im Falle einer Temperaturkompensation anstelle eines zusätzlichen Temperaturfühlers eine weitere Eigenschwingung des Wandlers angeregt und deren Frequenz ausgewertet wird.

Dieses zusätzliche Frequenzsignal enthält die benötigte Information über die integrale Temperaturverteilung des schwingenden Elements und erlaubt somit eine vollständige Temperaturkompensation.

Ein Temperaturgradient zwischen dem schwingenden Element und dem Temperaturmeßfühler ist auf diese Weise prinzipiell ausgeschlossen.

Dabei geht die Erfindung von der Erkenntnis aus, daß

verschiedene Schwingungsmoden eines zu Eigenschwingungen geeigneten Oszillators jeweils orthogonale Eigenzustände (Eigenvektoren) sind, die auf externe Störungen im allgemeinen unabhängig voneinander in Form von Frequenzänderungen reagieren. Bei einem Meßwandler lassen sich dementsprechend wegen der Orthogonalität bei hinreichend hohem Gütefaktor mehrere Moden gleichzeitig und unabhängig voneinander anregen.

Aufbauend auf diese Erkenntnis können also mit ein- und demselben Meßwandler, also beispielsweise einem Eigenschwingungen ausführenden Meßzylinder bei Anregung von N Moden gleichzeitig bis zu N physikalische Größen erfaßt und in herkömmlicher Weise ausgewertet werden.

Weiter geht der Erfindung dann die Erkenntnis voraus, daß, ist man nur an einer Größe interessiert, sich durch Anregung von $n + 1$ Moden eine Meßgröße erfassen und gleichzeitig n Störungsgrößen kompensieren lassen. Wird also beispielsweise ein Meßwandler in zwei Moden angeregt, dann könnte beispielsweise über die Frequenzänderung einer der Schwingungsmoden der Druck gemessen und durch Auswertung der Frequenzänderung der anderen Schwingungsmoden die Temperaturänderung und damit das Meßergebnis für den Druck vollständig temperaturkompensiert werden.

Bei Anregung desselben Zylinders in drei Moden wäre ein Einsatz als Drucksensor möglich, wobei der Meßwert vollständig temperatur- und dichtekompensiert werden könnte. Mit demselben Meßgerät bei Anregung des schwingenden Zylinders in drei Moden wäre dann entsprechend auch eine Dichtemessung möglich, die voll temperatur- und druckkompensiert werden kann.

Eine derartige Kompensation ist deshalb möglich, weil jeder schwingende Meßwandler die Eigenfrequenz seiner Moden mit dem Differenzdruck des mitschwingenden Mediums (Gas, Luft), der Dichte und der Temperatur bei jeder Mode in der ihr eigenen Weise verändert, wobei die Druck-, Dichte- und Temperaturempfindlichkeit der einzelnen Moden voneinander unabhängig sind. Am Beispiel der Druck-Frequenz-Kennlinien verschiedener Eigenmoden eines schwingenden Zylinders wird dies weiter unten in Verbindung mit der Zeichnung (Fig 7) im einzelnen erläutert. Wird also ein Meßwandler in zwei Moden, in folgenden α -Mode und β -Mode genannt, angeregt, dann werden gem. dem Vorschlag nach der Erfindung die beiden von dem zu messenden Medium beeinflussten Frequenzsignale f_α und f_β getrennt ausgewertet und in der Meßanordnung mit Hilfe des Rechners zu dem gewünschten kompensierten Wert, dem Druck p umgerechnet, wobei der Rechner Zugriff auf die zugehörigen Kalibrationsdaten hat.

Die Kalibration erfolgt genau wie erläutert, nur daß jetzt für die Rückrechnung auf den Druck die beiden Frequenzsignale f_α und f_β verwendet werden.

$$p = p(f_\alpha, f_\beta)$$

Aus Vorstehendem ergibt sich, daß bei Anregung in drei Moden auch noch eine vollständige Eliminierung der Dichte bei einer Druck- oder Temperaturmessung möglich ist.

Bei den vorausgegangenen Erläuterungen ist unterstellt, daß ein und derselbe Meßwandler absolut gleichzeitig in den verschiedenen Moden angeregt und die Frequenzänderungen der einzelnen Schwingungsmoden entsprechend gleichzeitig abgenommen werden. Dabei ist aber darauf hinzuweisen, daß für die Zwecke

der Erfindung auch ein unmittelbar aufeinanderfolgendes Anregen zu unterschiedlichen Schwingungsmoden durchgeführt werden kann, wenn nur die beiden oder die drei Schwingungsmoden während ein und desselben Meßvorganges entsprechend aufgebaut und ausgewertet werden.

Soweit bislang und im folgenden das Verfahren nach der Erfindung an Hand eines zylinderförmigen Sensors, der üblicherweise aus Stahl gefertigt ist, erläutert wurde, so ist das nur beispielhaft.

Für den Fachmann ist ersichtlich, daß die Funktion unabhängig vom Material, von der Form und von der Einspannung bzw. Lagerung des schwingenden Elements ist.

Im folgenden werden die vorstehenden pauschalen Darlegungen in Verbindung mit den anliegenden Zeichnungen vertieft.

Anhand dieser Zeichnungen wird im einzelnen folgendes erläutert:

Fig. 1 bis 6 Definition der Schwingungsmoden;

Fig. 7 Druck-Frequenz-Kennlinien unterschiedlicher Schwingungsmoden;

Fig. 8 die Auswertung der Meßergebnisse anhand eines Blockschaltbildes einer Anordnung;

Fig. 9 bis 10 der prinzipielle konstruktive Aufbau eines Hohlzylinders-Drucksensors als Meßwandler für die Zwecke der Erfindung bei Anregung in zwei Moden.

Anhand der in den Fig. 1 bis 6 wiedergegebenen Prinzipskizzen sollen zunächst die auch im folgenden verwendeten Bezeichnungen der Schwingungsmoden definiert werden.

Hierzu zeigt Fig. 1 zunächst schematisch einen Schwingungszylinder im Längsschnitt und Fig. 2 den dazugehörigen Querschnitt. Dieser Schwingungszylinder hat eine Länge l und einen Durchmesser d .

Wegen der hohen Druckempfindlichkeit werden bei zylindrischen Membranen bevorzugt die Radialbiegemoden angeregt.

Dabei entstehen, der Zylindersymmetrie entsprechend, längs der Zylinderachse und über den Umfang Schwingungsbäuche, die durch Knoten voneinander getrennt sind.

Die Anzahl der Knotenlinien parallel zur Achse und längs des Umfangs wird zur Benennung der Radialmoden verwendet. Üblicherweise wird die Anzahl der Halbwellen über der Zylinderachse mit m und die halbe Anzahl der Umfangsknoten mit n bezeichnet.

Eine bestimmte Radialmode wird dann durch das Wertpaar (m, n) gekennzeichnet, z. B. $(3, 4)$ für eine Mode mit $m = 3$ und $n = 4$. Einen Schnitt durch die Modenform mit $m = 1$ bzw. $n = 2$ bzw. 4 in den Fig. 3 bis 5 gezeigt.

Fig. 6a und b zeigen eine 3-dim. Darstellung der Moden $(1, 4)$ (Fig. 6a) bzw. $(2, 4)$ (Fig. 6b).

Erregersysteme zur Erzeugung unterschiedlicher Schwingungsmoden sind hinreichend bekannt. Dabei erfolgt die Anregung im allgemeinen elektromagnetisch. Es sei darauf hingewiesen, daß auch kapazitive, piezo-elektrische oder auch akustische Anregungen und entsprechende Schwingungsabnahmen durchaus möglich sind. Hierbei können auch beliebige Schwingungszustände, also beispielsweise Biege-, Dehn- oder Torsionsschwingungen aber auch Oberflächen- oder Dichtewellen angeregt werden.

Fig. 7 zeigt die Druck-Frequenz-Kennlinien verschiedener Schwingungsmoden ein- und desselben Zylinders mit bestimmten geometrischen Ausmaßen.

Dabei hat es sich als zweckmäßig erwiesen, das Qua-

drat der Frequenz über dem Druck aufzutragen. Es ist leicht zu erkennen, daß jede Mode eine eigene Druck-Frequenz-Charakteristik und somit eine eigene Druck-Empfindlichkeit aufweist.

Es sei aber nochmals darauf hingewiesen, daß sich bei anderen geometrischen Ausmaßen des Zylinders Kennlinien ergeben, die sich nicht nur in der Steigung, sondern auch in ihrer relativen Lage von den abgebildeten unterscheiden.

Die Abbildung veranschaulicht beispielhaft die bereits erwähnte Tatsache, daß verschiedene Schwingungsmoden eines zu Eigenschwingungen geeigneten Oszillators auf externe Störungen im allgemeinen unabhängig voneinander in Form von Frequenzänderungen reagieren. Dies gilt in gleicher Weise für die Dichte- und somit auch Temperaturcharakteristiken verschiedener Moden ein- und desselben Oszillators, insbesondere für einen schwingenden Zylinder. Es gibt z. B. Zylindermoden mit relativ hoher Druckempfindlichkeit aber vergleichsweise kleiner Dichte- bzw. Temperaturempfindlichkeit und umgekehrt. Mit Hilfe derartiger für ein konkretes System zu ermittelnden Kurven kann dann ein Rechner unmittelbar die korrigierten Druck-, Temperatur- oder Dichtewerte ermitteln, wobei aus zwei Frequenzsignalen zwei physikalische Größen und aus drei Frequenzsignalen drei physikalische Größen berechnet werden können. Im praktischen Betrieb muß dann ein Rechner nur diese Kalibrationsdaten zur Verfügung haben, um mit Hilfe des ihm eingegebenen Programms die tatsächlichen, unverfälschten Werte zu ermitteln und gegebenenfalls anzuzeigen.

Eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens benötigt dann, wie anhand der Fig. 8 anschaulich gezeigt wird, zunächst lediglich einen Meßwandler 8, beispielsweise in Form eines zylindrischen Drucksensors, dem von unten das strömende Medium mit dem zu messenden Druck zugeführt wird. Es ist dabei davon ausgegangen, daß eine Störgröße 7 in Form von Temperaturänderungen auf den Zylinder einwirkt.

Erfindungsgemäß wird der Zylinder in zwei Moden angeregt, wobei dann die Frequenzen f_a und f_b abgenommen und dem Mikroprozessor 9 zugeführt werden. Der Mikroprozessor 9 hat Zugang zu den Kalibrationsdaten, die beispielsweise in einem EPROM 10 gespeichert sind, und ruft je nach den abgenommenen und entsprechend digitalisierten Frequenzen diese Daten zur Ermittlung des bereinigten Druckwertes auf. Der tatsächliche Druck p_{kor} wird dann entsprechend ausgegeben und in an sich bekannter Weise angezeigt.

Die Anregung des Meßwandlers zu Eigenschwingungen in verschiedenen Schwingungsmoden kann an sich von dem Fachmann ohne Schwierigkeiten realisiert werden.

Aus Vollständigkeitsgründen wird eine Anordnung zur Anregung eines zylinderförmigen Drucksensors zu den Schwingungsmoden $m = 1$, $n = 4$ und $m = 2$, $n = 4$ anhand der Fig. 9 und 10 erläutert.

Die beiden Schwingungsmoden sind in den Fig. 6a und 6b dargestellt.

Dabei zeigt die Fig. 9 nur den schematisch den Aufbau des Druckzylinders ohne konstruktive Details und ohne Wiedergabe von Einzelteilen, die für das Verständnis der Erfindung ohne Bedeutung sind, und die Fig. 10a bis 10c den Aufbau der Erreger- und Abnehmersysteme.

Bei der Ausführungsform nach Fig. 9 ist ein Druckzylinder 1 in einer Halterung 2, die eine Durchgangsöffnung 3 für die Luft, deren Druck gemessen werden soll, aufweist, fest eingespannt. An der Oberseite ist der

Druckzylinder durch einen Deckel 4 luftdicht abgeschlossen. Die Arbeitsweise eines derartigen Druckzylinders ist bekannt. Die Luft, deren Druck gemessen werden soll, wird in den Innenraum geleitet, während um den Zylinder herum eine definierte Atmosphäre, z. B. der Druck 0 herrscht.

Diese Druckdifferenz erzeugt eine zusätzliche Spannung in der Zylinderwand, welche eine entsprechende Änderung der Zylinderfrequenz nach sich zieht.

Aus dieser Frequenzänderung wird auf den zu messenden Druckwert geschlossen.

Im Innern des Zylinders sind zwei Erregersysteme, 11 und 14, und zwei Aufnehmersysteme 12 und 13 angeordnet.

Der Symmetrie der Aufnehmeranordnung 12 und 13 entsprechend werden damit die Moden $m = 1$, $n = 4$ und $m = 2$, $n = 4$ selektiert. Moden mit $m = 3, 4, 5 \dots$ und $n = 8, 12, 16, \dots$ erfordern sehr viel größere Erregerkräfte und werden somit stark bedämpft.

Die Unterscheidung der beiden selektierten Moden, (1, 4) und (2, 4) erfolgt durch Summen- bzw. Differenzbildung aus den beiden von den Aufnehmern 12 und 13 gelieferten Induktionsspannungen u_{12} und u_{13} . Das Resultat der gleichphasigen Kombination von 12 und 13, $u_a = u_{12} + u_{13}$ entspricht der Mode (1, 4) (Fig. 6a) während die gegenphasige Kombination, $u_b = u_{12} - u_{13}$ die Mode (2, 4) (Fig. 6b) beschreibt.

Die so erhaltenen Bewegungsamplituden, u_a und u_b , werden verstärkt, ggfs. gefiltert, und phasengerecht den beiden Erregersystemen 11 und 14 zugeführt.

Standardschaltungen für eine solche Nachführung sind bekannt.

Auch die Anordnung der Erregersysteme 11 und 14 trägt zur Selektivität bei.

Die Summen- bzw. Differenzbildung ist nicht Voraussetzung für die gleichzeitige Anregung zweier (oder mehrerer) Moden, reduziert aber den konstruktiven Aufwand für deren geometrische Selektion.

In den Fig. 10a bis 10d ist nun der prinzipielle Aufbau des Erregersystems 11 (Fig. 10a, 10b) bzw. der Aufnehmeranordnung 12 (Fig. 10c, Fig. 10d) wiedergegeben.

Dabei zeigt die Fig. 10a in einem Längsschnitt den Aufbau des Erregersystems 11, wobei mit 111 eine Spule, 112 ein Dauermagnet, 113 Polschuhe sowie 114 das Spulengehäuse bezeichnet ist.

Die Fig. 10b zeigt dabei den Schnitt entsprechend der gestrichelten Linie in Fig. 10a.

Fig. 10c zeigt einen Längsschnitt durch die Aufnehmeranordnung 12 und

Fig. 10d eine Draufsicht. Hierbei sind die Bezugszeichen in der letzten Stelle analog zu dem Bezugszeichen in den Fig. 10a und 10b gewählt, d. h. mit 121 ist wiederum die Spulenwicklung, 122 ein Dauermagnet, 123 Polschuhe und 124 der Spulenträger bezeichnet.

Die Erfindung wurde relativ konkret unter Verwendung eines zur Eigenschwingung anregbaren Hohlzylinders erläutert.

Die vorausgegangenen allgemeinen Ausführungen zeigen dem Fachmann aber, daß das gleiche Kompensationsprinzip bei allen schwingfähigen Gebilden, wie Saite, Balken, Membran oder auch Quader angewendet werden kann, indem beispielsweise einer Membran Schwingungsmoden verschiedener Symmetrie aufgedrückt werden.

Dabei kann der zu Eigenschwingungen anregbare Körper aus Stahl, Quarz, Glas oder einem anderen hochelastischen Material sein.

Daß es sich darüberhinaus empfehlen kann, bei den

Abnehmersystemen zur gegenseitigen Entkopplung unterschiedliche Arten anzuwenden, also beispielsweise ein System arbeitet elektromagnetisch, das andere kapazitiv oder piezo-elektrisch oder im Grenzfall sogar akustisch, wurde schon erwähnt. Dabei sind durchaus 5 unterschiedliche Schwingungsarten, wie Biegeschwingungen, Dehnungsschwingungen, Impressionsschwingungen oder auch Oberflächenschwingungen gleichzeitig anwendbar, da, wie dargelegt, diese Schwingungen bei hinreichender Güte des Schwingungssystems sich 10 gegenseitig nicht beeinflussen.

Der Vollständigkeit halber sei nochmals darauf hingewiesen, daß die Selektivität eines Aufnehmer-/Erregersystems allein von dessen Symmetrie abhängt und daß 15 die oben erläuterte Summen- bzw. Differenzbildung der Signale von Teilsystemen lediglich dazu dient, den konstruktiven Aufwand für die Erregung zweier oder dreier Moden zu reduzieren.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG.1

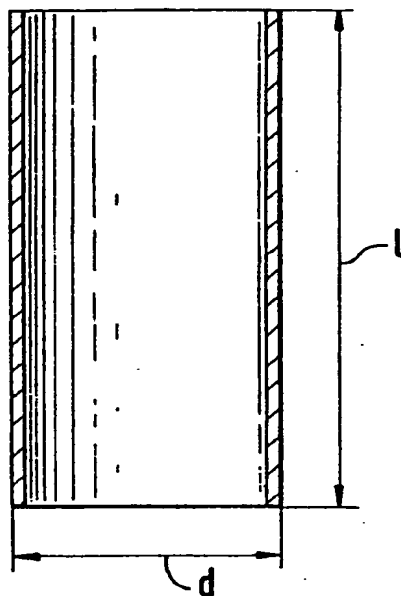


FIG.3

3618798

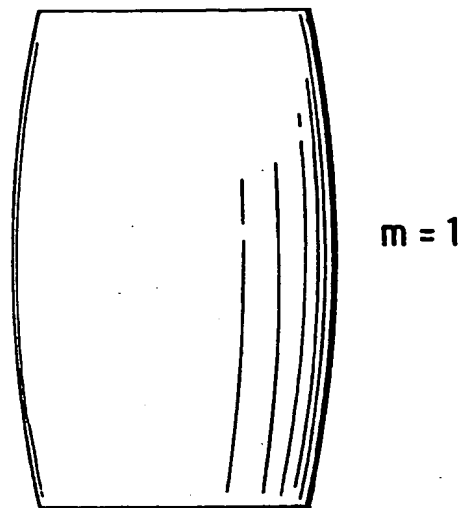


FIG.2

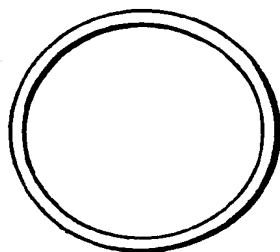


FIG.4

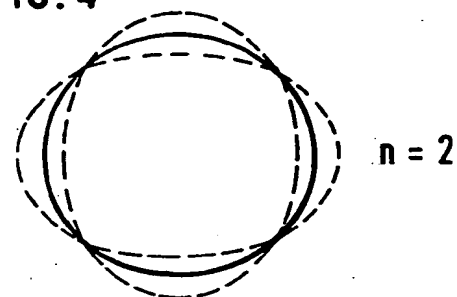
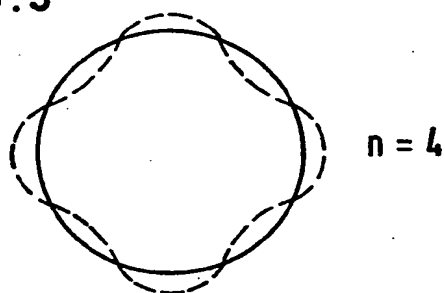


FIG.5



3618798
FIG.6a

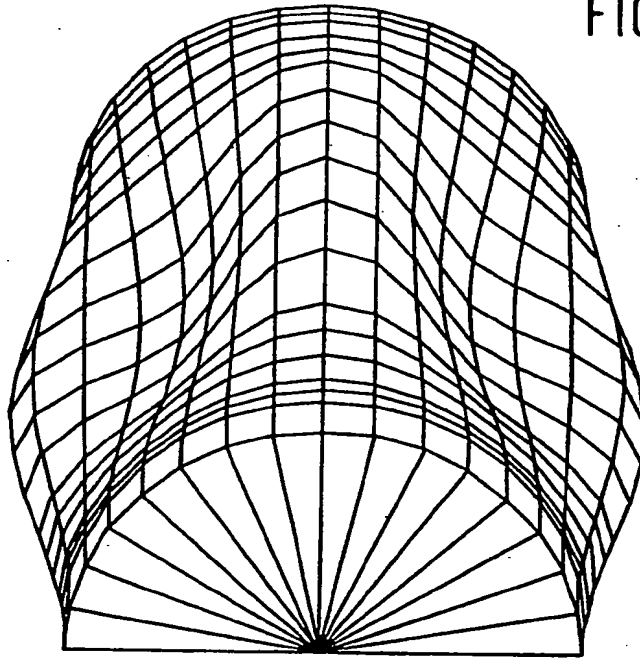


FIG.6b

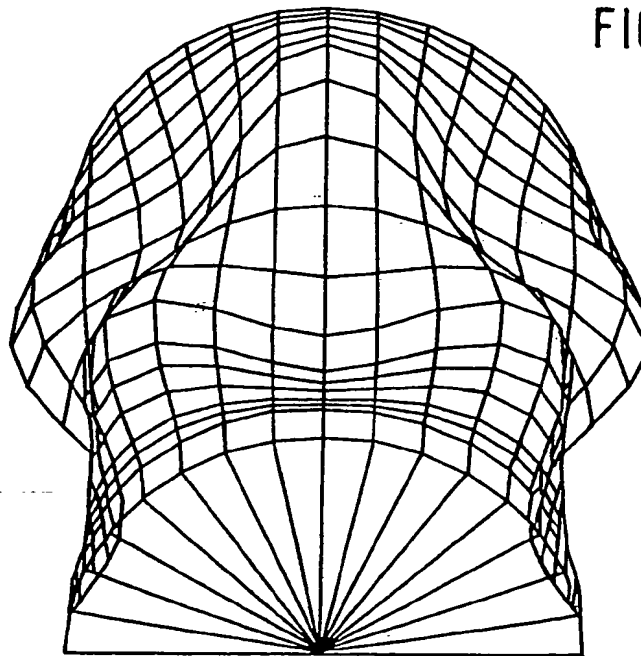


FIG.7 3618798

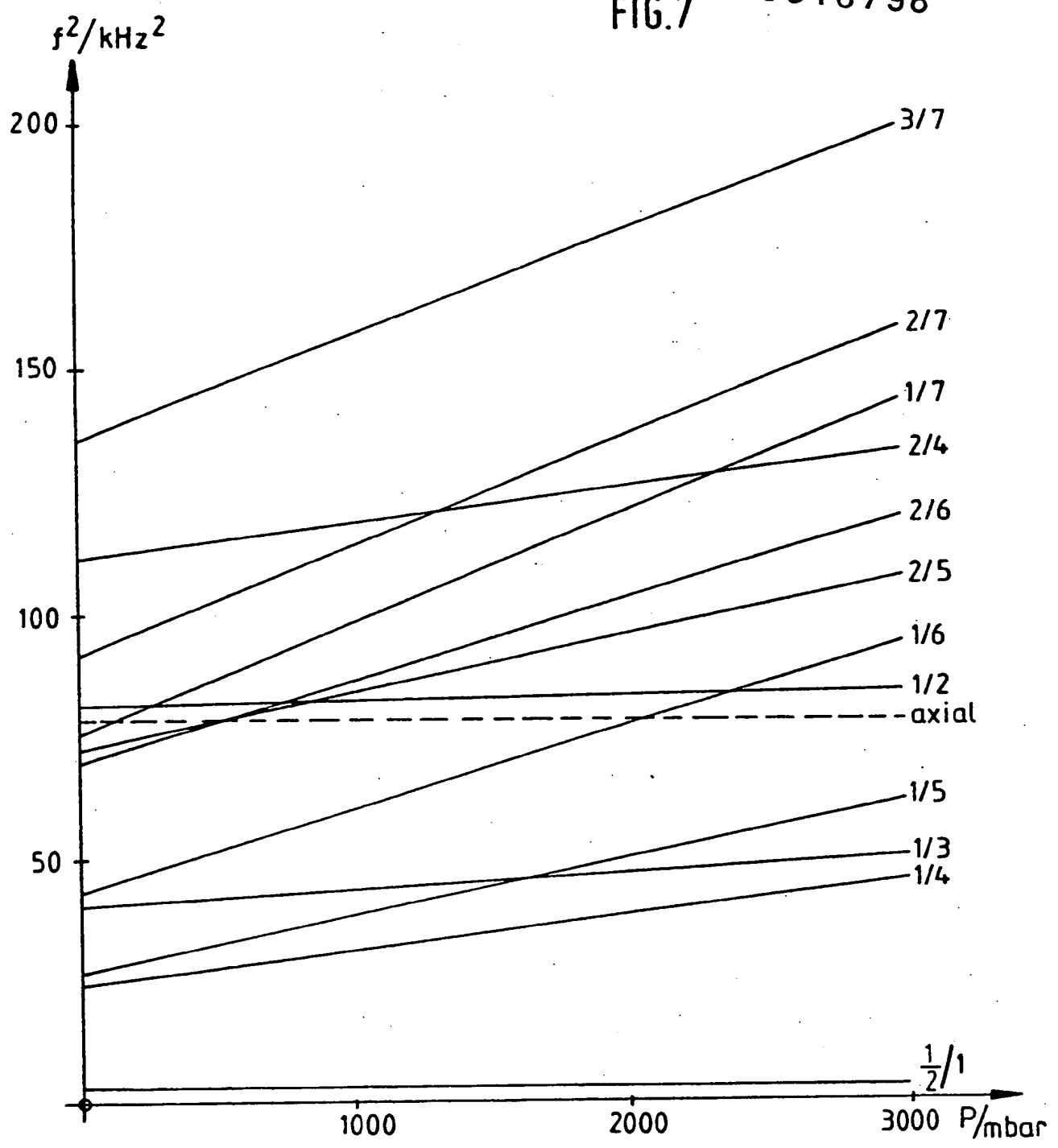
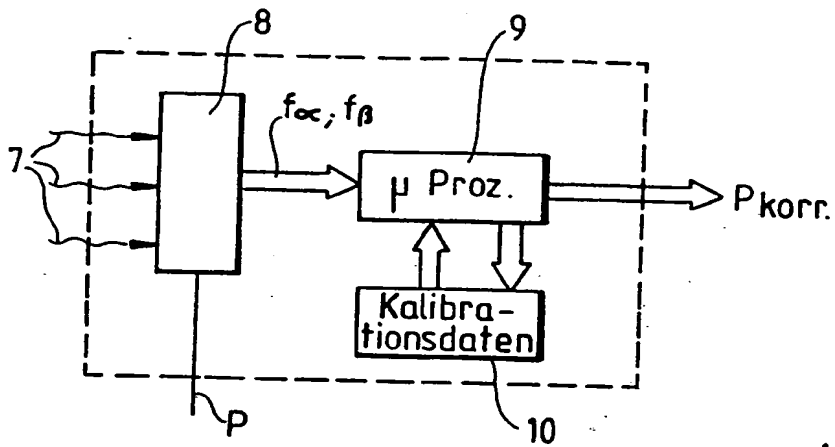


FIG.8



3618798

FIG.9

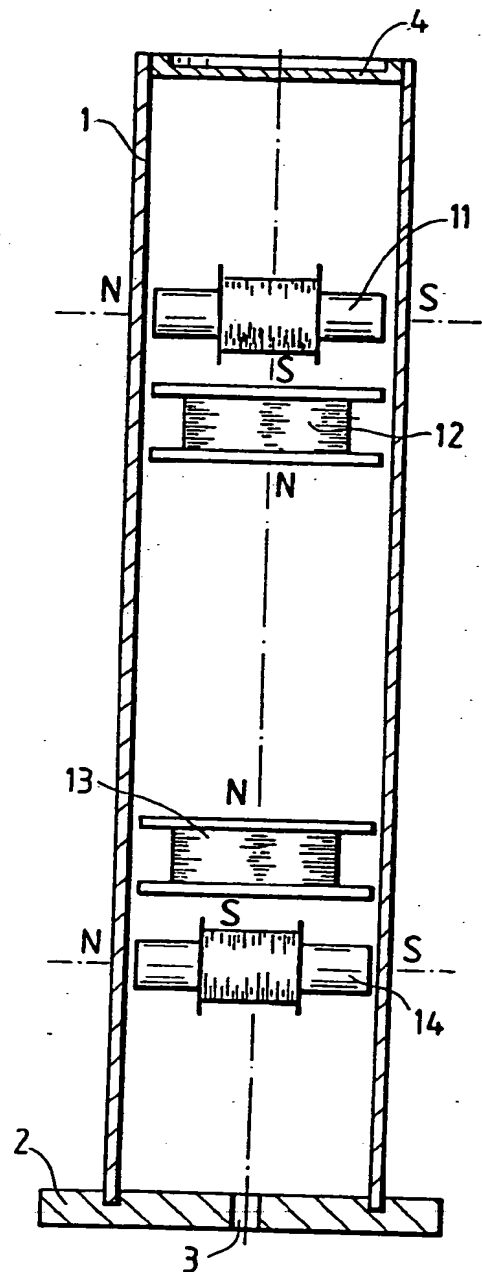


FIG.10a

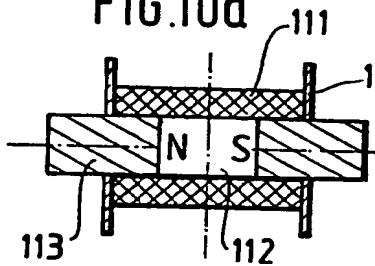


FIG.10b

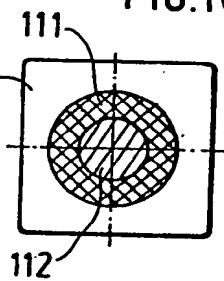


FIG.10c

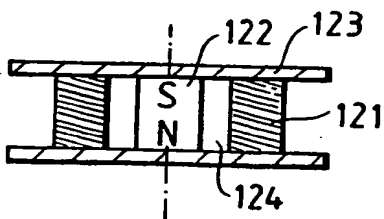


FIG.10d

